

Цифровые технологии в строительстве

В.И.Травуш, РААСН, Москва

Настоящая статья посвящена анализу современного состояния и перспектив развития цифровых технологий в строительстве. Введены основополагающие понятия цифровой экономики, цифрового производства и цифровых технологий; описана своеобразная «эволюция» процесса проектирования в строительстве (переход от «бумажных» технологий к системам автоматизированного проектирования и далее – к информационному моделированию строительных объектов). Указаны современные достижения математического и компьютерного моделирования нагрузок и воздействий, а также современные достижения и проблемы математического (численного) моделирования напряжённо-деформированного состояния (НДС), динамики и устойчивости при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий на значимых этапах жизненного цикла строительного объекта. Рассмотрены цифровые технологии в экспериментальных и натурных исследованиях, показана взаимосвязь с математическим моделированием, представлены цифровые технологии в производстве материалов, изделий и конструкций, дана краткая характеристика развития компьютерного материаловедения. В числе весьма актуальных проблем, затронутых в статье, следует также выделить принципиально новый подход в архитектурно-строительном проектировании, заключающийся в создании компьютерной модели нового здания (сооружения), несущей в себе все сведения о будущем объекте и являющейся инструментом контроля за его жизненным циклом – Building Information Model (BIM) – это, по существу, отражение идей цифровой экономики в строительстве – и цифровые технологии в экономике строительства. Поясняются понятия «умных» дома, района, города, региона и страны, зачастую используемые профессионалами с учётом текущих реалий, долгосрочных и среднесрочных перспектив. В завершении даётся оценка целесообразности нормотворчества в области информационных технологий.

Ключевые слова: цифровые технологии, математическое моделирование, численное моделирование, компьютерное моделирование, информационное моделирование, компьютерное материаловедение, жизненный цикл строительного объекта, нагрузки и воздействия, строительные конструкции, строительная механика, строительная аэрогидродинамика

Digital Technologies in Construction

V.I.Travush, RAASC, Moscow

The article is devoted to the analysis of the current state and prospects of development of digital technologies in construction. The fundamental concepts of digital economy, digital production

and digital technologies are introduced; a peculiar “evolution” of the design process in construction is described (transition from so-called “paper-based” technologies to computer aided design systems and further to information modeling of construction objects). Contemporary achievements of mathematical and computer modeling of loads and impacts, contemporary achievements and problems of mathematical (numerical) modeling of the stress-strain state, dynamics and stability at the basic and special combinations of loads and impacts at significant stages of life cycle of construction object are specified. Digital technologies in experimental and field studies are considered, the interrelation with mathematical modeling is shown, digital technologies in production of materials, products and structures are presented, the brief and substantial analysis of development of computer material science is given. Among the very topical issues raised in the article we should also highlight BIM – a fundamentally new approach in architectural and construction design, which includes creation of a computer model of a new building (structure), which carries all the information about the future of the object and is an instrument of control over its life cycle. Building Information Model is, in essence, a reflection of the ideas of the digital economy in construction and digital technology in the construction economy. The article also explains the concept of so-called “smart” home, “smart” district, “smart” city, “smart” region and “smart” country, which are normally used by professionals in terms of current realities, long-term and medium-term prospects. Finally, the expediency of development of design codes in the field of information technologies is assessed.

Keywords: digital technologies, mathematical modelling, numerical modelling, computer modelling, information modeling, computer material science, life cycle of a building object, loads and impacts, building structures, construction mechanics, construction aerohydrodynamics

Цифровая экономика, цифровое производство, цифровые технологии

Термин цифровые технологии вначале обозначал возможность с помощью компьютеров обрабатывать большие массивы чисел. В 1995 году американский информатик Николас Негропonte (Массачусетский технологический институт) ввёл в употребление термин «цифровая экономика». Одно из наиболее общих определений для которого: цифровая экономика – это система экономических, социальных и культурных отношений,

основанных на использовании цифровых технологий. К современным цифровым технологиям относятся, в частности, технологии математического и компьютерного моделирования, технологии Big Data (возможность работать с огромными массивами информации), интеллектуальные технологии, технологии определения местонахождения, облачные сервисы (то есть выделяемое дисковое пространство на удалённом сервере), технологии 3D-печати, интеллектуальные датчики, мобильные устройства. С использованием цифровых технологий изменяются повседневная жизнь человека, производственные отношения, структура экономики и образование, а также возникают новые требования к коммуникациям, вычислительным мощностям, информационным системам и сервисам. В статье рассматриваются основные аспекты современных цифровых технологий в строительстве.

В настоящее время массивы данных о регионах, сооружениях, материалах и их свойствах, технологиях возведения становятся новым активом, причём, главным образом, за счёт их альтернативной ценности, то есть по мере применения существующих, уже известных данных в новых целях и их использования для реализации новых идей. В таких условиях в России начинает решаться государственная задача создания инфраструктуры, которая обеспечила бы эффективное взаимодействие хозяйствующих субъектов в цифровом пространстве. Строительная индустрия не только создаёт рабочие места и составляет 6% от мирового ВВП, но также формирует инфраструктуру, необходимую для процветания бизнеса, и со временем влияние строительной отрасли будет только расти. Именно внедрение цифровых технологий станет важным фактором инновационного развития строительной отрасли, позволит изыскателям, архитекторам, инженерам, дизайнерам, заказчикам и строителям стать по-настоящему единой командой и добиться успехов в реализации самых сложных проектов капитального строительства. Но переход к управлению в цифре – это не просто перевод данных и процессов в цифровой вид, это ещё и смена моделей, подходов, способов мышления (и «управленцев»).

Следует отметить, что более десяти лет в Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) развиваются и внедряются цифровые технологии в области строительства, а также формируются научно-методические основы подготовки необходимых кадров. В дальнейшем РААСН должна стать одной из основных площадок для обсуждения актуальных вопросов развития цифровых технологий в архитектуре и строительстве [1; 7].

Из прошлого в будущее без остановки

Как известно, до изобретения компьютеров и программного обеспечения, все проектирование велось по «бумажной» технологии.

Изменения вносились с помощью аппликаций, ксерокопирования новых узлов и их вклеивания в существующий чертёж, а необходимость значительного исправления означала воспроизведение чертежа с самого начала. Все инженерные расчёты производились с помощью арифмометров и логарифмических линеек, вся документация хранилась на бумаге.

Это не помешало в короткие сроки после войны создать ряд выдающихся архитектурных произведений. Были восстановлены разрушенные города, в Москве построено семь высотных зданий, построено самое высокое здание в мире – телебашня в Останкино.

Идея автоматизировать проектирование зародилась в 50-х годах прошлого века, почти одновременно с появлением коммерческих компьютеров. Программное обеспечение вместе с аппаратными средствами позволяли автоматизировать наиболее трудоёмкие работы чертёжного характера. Возможности графических программ постепенно расширялись, что позволяло облегчить процесс черчения.

Сегодня очевиден качественный прогресс информационных технологий в строительстве. В основе современных систем автоматизированного проектирования (САПР) лежит создание компьютерной модели объекта. Теперь пользователь создаёт не просто чертёж, а электронную копию проектируемого объекта. Процессы расчётного обоснования, проектирования и возведения объекта при современной практике строительства нередко выполняются параллельно, что определяет необходимость интенсивного обмена результатами работы между научно-исследовательскими, проектными и строительными организациями, зачастую географически удалёнными друг от друга и в ряде случаев использующими несовместимые компьютерные платформы и программные средства. Информационное моделирование зданий заключается в создании и использовании комплекса согласованных и взаимосвязанных проектных данных. Эти данные используются для формирования строительной-технической документации, прогнозирования эксплуатационных характеристик, оценки затрат и планирования строительных работ, а затем – и для управления строительным объектом [6].

Современные достижения математического и компьютерного моделирования нагрузок и воздействий

Самостоятельной проблемой, общей для всех строительных объектов, является задание нагрузок и воздействий на здания и сооружения в процессе их жизненного цикла [1; 6; 7].

Как известно, нагрузки на строительные конструкции устанавливаются нормами по заранее заданной вероятности превышения средних значений – постоянные нагрузки принимают по проектным значениям геометрических параметров, технологические нагрузки по наибольшим значениям, предусмотренным для нормальной эксплуатации, временные нагрузки от людей – по заполняемости помещений и пространств и т.д.

Для уникальных зданий и сооружений актуальной и до конца не решённой задачей является моделирование ветровых потоков и нагрузок на здания, сооружения и комплексы.

Анализ поведения всего здания и его отдельных конструктивных элементов в потоке ветра обнаруживает наряду со статическими деформациями большое разнообразие явлений аэрогидроупругой неустойчивости, обусловленное формой поперечного сечения, конфигурацией здания и его ориентацией

относительно направления потока, упругими и демпфирующими свойствами конструкций, особенностью рельефа местности и интерференцией в условиях плотной и изменяющейся окружающей застройки. Указанные явления значительно влияют на надёжность и долговечность конструкций, а также комфортность пребывания людей. Среди них известны колебания вихревого возбуждения, например ветровой резонанс, галопирование, дивергенция, флаттер и бафтинг. Особую важность приобретает оценка максимальных и минимальных ветровых давлений на ограждающие поверхности с учётом их статистического разброса. Применяемые в расчётах ветровые и сейсмические нагрузки имеют относительно малую историю наблюдений (100–150 лет), что затрудняет их нормирование на более длительные сроки.



Рис. 1. Макет комплекса ММДЦ «Москва-Сити» в аэродинамической трубе

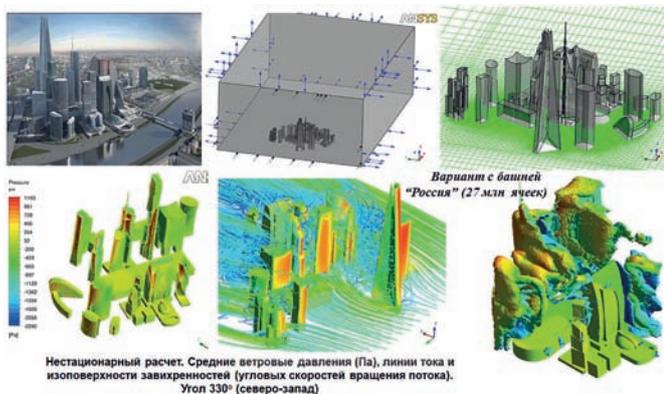


Рис. 2. ММДЦ «Москва-Сити». Комплексные расчёты ветровой аэродинамики

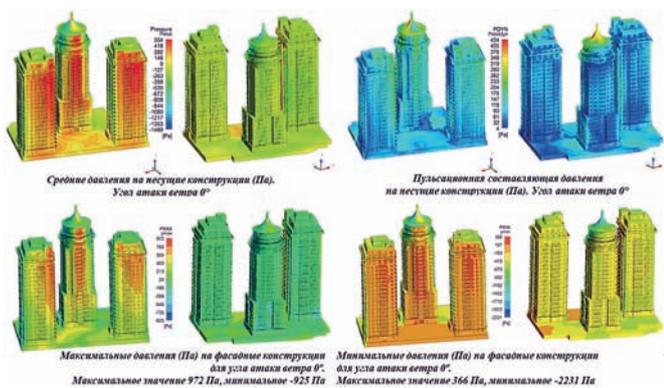


Рис. 3. Многофункциональный жилой комплекс. Московская область, город Пушкино. Ветровые нагрузки на несущие и фасадные конструкции, оценка пешеходной комфортности (ПК «ANSYS/CFD»)

Для определения расчётных параметров неустойчивых колебаний нормами предлагается использовать результаты испытаний крупномасштабных макетов в специализированных аэродинамических трубах, позволяющих воспроизвести атмосферный пограничный слой, но подобные испытания весьма трудоёмки, причём в России лишь несколько труб удовлетворяют современным требованиям, и для наиболее масштабных моделей испытания приходится выполнять за рубежом (в частности, на рисунке 1 показан макет комплекса Московского международного делового центра «Москва-Сити» (ММДЦ «Москва-Сити» в аэродинамической трубе).

Методология экспериментального моделирования ветровых потоков и воздействий на уникальные высотные комплексы, разумеется, обладает собственными ограничениями и погрешностями из-за сложности создания динамически подобной модели. Подчеркнём, что в последние годы в РААСН развивается новое научное направление – вычислительная аэрогидродинамика, то есть определение распределений снеговых и ветровых нагрузок, а также аэродинамических коэффициентов на основе решений фундаментальных задач аэродинамики с помощью цифровых технологий на компьютерах [1; 7].

Полученные при этом расчётные аэродинамические параметры вычисляются с учётом различных форм зданий, интерференции с окружающей застройкой, а также локального рельефа местности. В перспективе роль математического моделирования будет только возрастать. Соответствующие параметризованные модели и результаты численного моделирования ветровой аэродинамики в дальнейшем целесообразно использовать при формировании и эксплуатации системы мониторинга объекта.

На рисунке 2 в качестве примера показаны некоторые результаты распределения ветровых нагрузок на объекты ММДЦ «Москва-Сити».

На рисунке 3 приведены компьютерные модели комплекса многоэтажных зданий для определения ветровых нагрузок и воздействий. Изолинии иллюстрируют распределение ветрового давления по фасадным поверхностям здания при различных направлениях ветра. На рисунке 4 в виде графиков

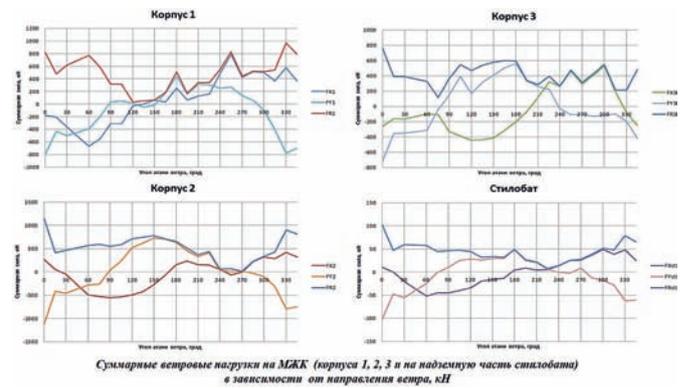


Рис. 4. Многофункциональный жилой комплекс. Ветровые нагрузки на несущие и фасадные конструкции, оценка пешеходной комфортности (ПК «ANSYS/CFD»)

показаны суммарные ветровые нагрузки на корпуса здания.

На рисунке 5 показано распределение параметров пешеходной комфортности по нормативным критериям. Зоны некомфортности выделены красным цветом.

Моделирование переноса снега в аэродинамической трубе даёт возможность получить качественную характеристику возможных отложений снега при разных направлениях ветра, имеется численный опыт (рис. 6).

Остановимся ещё на задании сейсмической нагрузки.

Интенсивность сейсмических воздействий принимается по картам общего сейсмического районирования ОСР-2015, масштаб 1:2500 000. Однако для районов с высокой сейсмической активностью (Кавказ, Крым, Сахалин, Кемеровская область, Красноярский край и т.п.) необходима разработка карт ДСР (детального сейсмического районирования) с масштабом 1:500 000. Для особо опасных и ответственных объектов применяется сейсмическое микрорайонирование (СМР) с масштабом 1:50000 – 1:2000. Вообще для конкретной площадки строительства с заданной сейсмичностью нереально записать много сильных землетрясений именно в данном пункте, по-этому применяют спектры для других регионов, имеющих сходные сейсмо-тектонические, геологические и грунтовые условия. Если для какой-либо площадки известны размеры и расположение потенциальных

очагов землетрясений, то для неё можно определить специальный спектр на основе статистической обработки и анализа ряда акселерограмм и/или спектров реальных землетрясений с учётом местных сейсмологических условий и построить синтезированную трёхкомпонентную акселерограмму.

Современные достижения и проблемы математического (численного) моделирования напряжённо-деформированного состояния (НДС), динамики и устойчивости при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий на значимых этапах жизненного цикла сооружения

После определения и задания нагрузок возникает задача определения напряжённо-деформированного состояния элементов сооружения при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий на значимых этапах жизненного цикла сооружения.

Одна из основных проблем расчёта уникальных сооружений – большая вычислительная размерность задач – от нескольких миллионов до десятков миллионов неизвестных, находящаяся на границе возможности доступных современных вычислительных программных комплексов.

На рисунке 7 показаны пять первых собственных форм колебаний высотного комплекса «Лахта Центр», расчётная схема которого насчитывает 440 000 конечных элементов (КЭ). На рисунке 8 показаны компьютерные модели шести новых

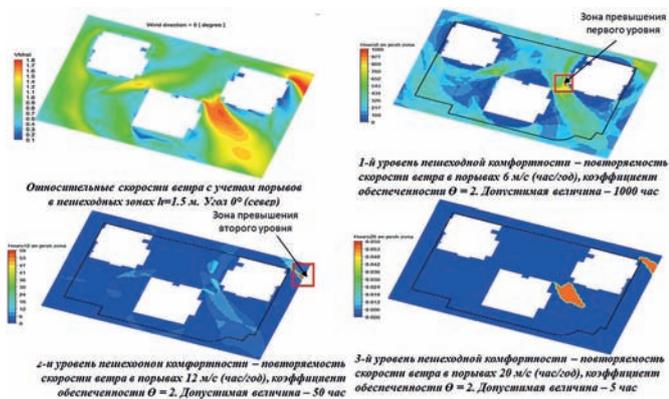


Рис. 5. Многофункциональный жилой комплекс. Ветровые нагрузки на несущие и фасадные конструкции, оценка пешеходной комфортности (ПК «ANSYS/CFD»)

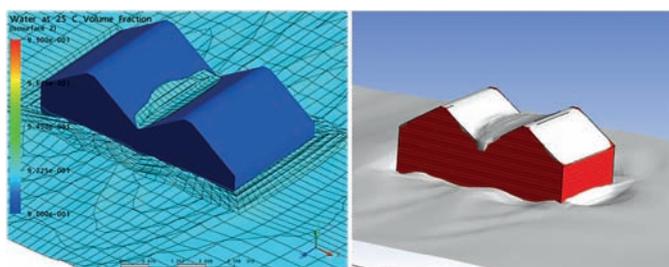


Рис. 6. Численное моделирование переноса снега



Рис. 7. Формы собственных колебаний комплекса «Лахта Центр»

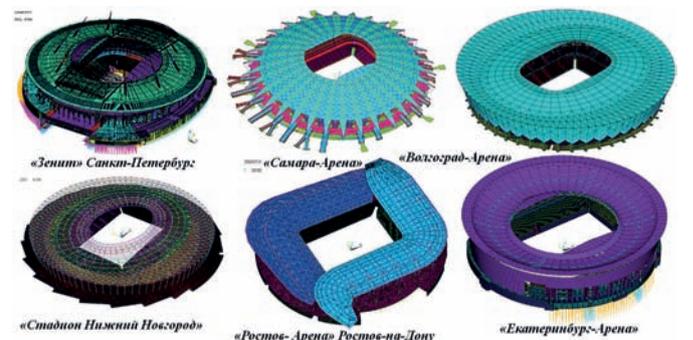


Рис. 8. Конечноэлементные модели несущих конструкций футбольных стадионов Чемпионата мира по футболу 2018 года

стадионов для чемпионата мира по футболу с размерностями 350 000 КЭ для Екатеринбурга и 2 500 000 КЭ – для Самары.

Часто необходимо достаточно подробное трёхмерное моделирование наиболее нагруженных узлов сооружений, прочность и устойчивость которых могут определить безопасность всей системы.

На рисунке, расположенном на третьей странице обложки журнала, показана трапецевидная в плане сетчатая оболочка

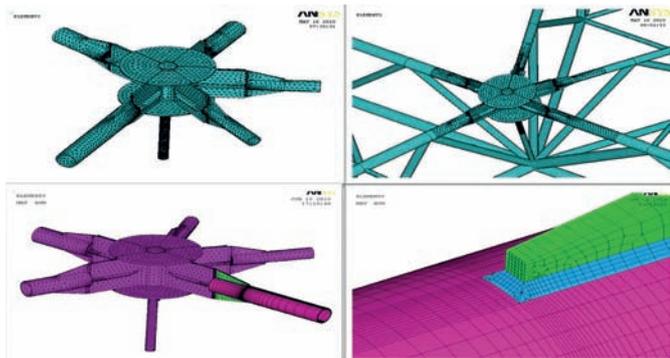


Рис. 9. Конечноэлементное моделирование конструктивных узлов

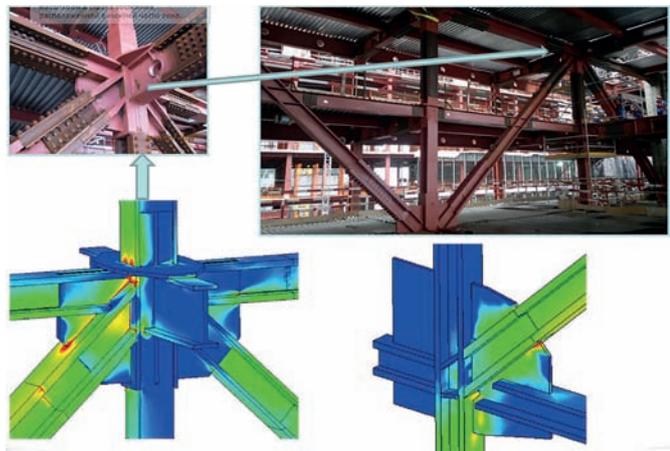


Рис. 10. Конечноэлементное моделирование наиболее нагруженных узлов каркаса промышленного здания

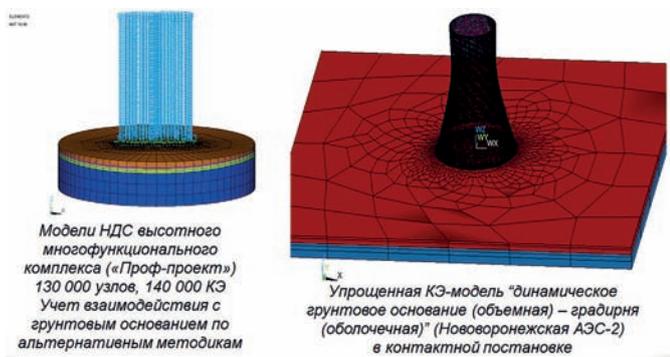


Рис. 11. Моделирование взаимодействия сооружений с грунтовым основанием, в том числе с учётом реальных свойств, поэтапности возведения и фактической истории эксплуатации

покрытия терминала аэропорта «Внуково» (Москва) размерами 140×75 метров, опирающаяся на сетку железобетонных колонн.

Всё покрытие моделируется линейными элементами, а наиболее напряжённые узлы в этой расчётной схеме моделируются оболочечными элементами, что позволяет получить в них подробное распределение напряжений (рис. 9).

Аналогично рисунок 10 иллюстрирует рассмотренный расчёт каркаса здания, у которого к несущим фермам пролётом 36,0 метров подвешено 17 этажей. Показано распределение напряжений в узле с опорным раскосом с усилием 4000 тонн.

Для моделирования взаимодействия сооружений с грунтовым основанием с учётом реальных свойств, поэтапности возведения и фактической истории эксплуатации разработаны алгоритмы нелинейного расчёта на базе «продвинутых» пространственных моделей грунта, предложенных отечественными и зарубежными учёными (рис. 11).

Прогрессирующее обрушение является наиболее опасным явлением разрушения строительных конструкций, способным привести к большому числу человеческих жертв и огромным материальным потерям. Отметим, что процессы деформирования, разрушения и обрушения конструкций здания являются нелинейными процессами, сопровождающимися большими пластическими деформациями и перемещениями, а также динамическими нагружающими эффектами в момент отказа элементов конструкций. Решение подобных задач целесообразно проводить с применением методов прямого интегрирования уравнений динамики во времени.

В настоящее время стало обязательным выполнение расчётов уникальных и ответственных зданий и сооружений в сейсмоактивных районах на максимальное расчётное землетрясение (МРЗ), заданное акселерограммами, прямым динамическим методом и с учётом возможных проявлений эффектов физической, геометрической и конструктивной нелинейностей [3]. Основным критерий таких расчётов – недопущение обрушения («прогрессирующего») всего сооруже-

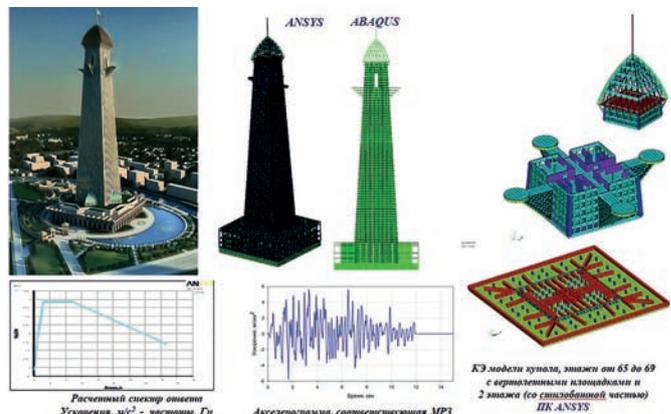


Рис. 12. Расчётные исследования НДС, прочности несущих конструкций башни «Ахмат» (Грозный) при действии нормативно-регламентированных сочетаний статических, ветровых и сейсмических нагрузок (программные комплексы «ANSYS», «SIMULIA Abaqus»)

ния или значимой его части. Для развития этого направления необходимо совершенствовать и создавать адекватные математические нелинейные модели поведения строительных материалов и конструкций при динамическом нагружении.

На рисунке 12 показаны исходные данные для расчётных исследований НДС, прочности несущих конструкций башни «Ахмат» (Грозный) при действии сочетаний статических, ветровых и сейсмических нагрузок.

На рисунке 13 показаны картины разрушения железобетонных конструкций здания при двух- и четырёхпроцентном армировании в условиях воздействия МРЗ 9 баллов, заданного синтезированной акселерограммой. При двухпроцентном армировании происходит прогрессирующее разрушение и обрушение верхних десяти этажей. При четырёхпроцентном армировании обрушения не происходит.

Весьма актуальными в настоящее время являются, как известно, задачи определения фактических пределов огнестойкости строительных конструкций (рис. 14). Традиционные отечественные методики базируются на исследованиях 60-х – 70-х годов прошлого века и соответствуют вычислительной возможности тех лет.

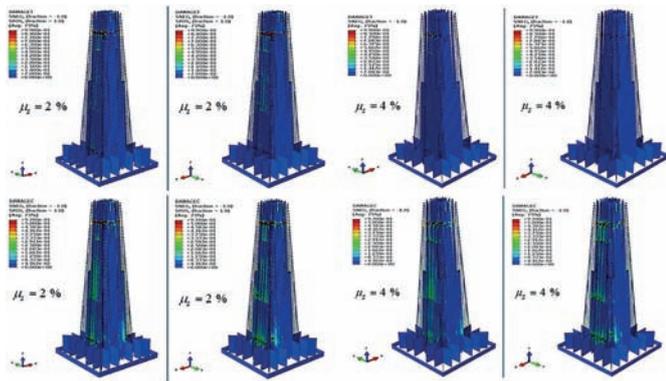


Рис. 13. Повреждения после МРЗ в конструкциях, для которых была задана физически нелинейная модель, вследствие растяжения (сверху) и сжатия (снизу)

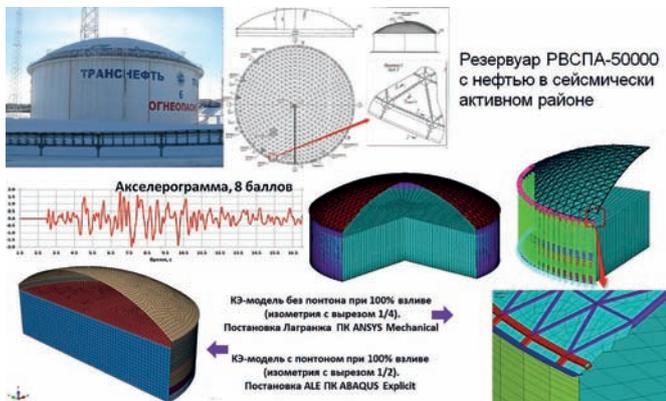


Рис. 14. Определение нестационарных полей температур в строительных конструкциях при гипотетических пожарах

Наиболее достоверным способом определения фактического предела огнестойкости является огневое испытание натурных моделей конструкций в условиях стандартного пожара. Однако данный вид испытания является достаточно дорогим, а для большепролётных конструкций – вообще невозможным из-за ограниченных размеров имеющихся огневых камер. Выходом из этой ситуации может служить определение пределов огнестойкости расчётными методами [1].

Традиционно актуальными являются связанные задачи механики для адекватного моделирования уникальных и ответственных зданий и сооружений (то есть нелинейные задачи, когда воздействие на сооружение связано с его деформациями или напряжённым состоянием). В частности, классический пример связанных задач аэрогидроупругости – это необходимость обеспечения прочности и надёжности резервуаров с нефтепродуктами, газами и другими экологически опасными веществами. На рисунке 15 приведена задача определения НДС резервуаров с нефтью при сейсмическом воздействии [1; 7].

Актуальными в области строительства остаются и задачи термоупругости. В общем случае задача определения тем-

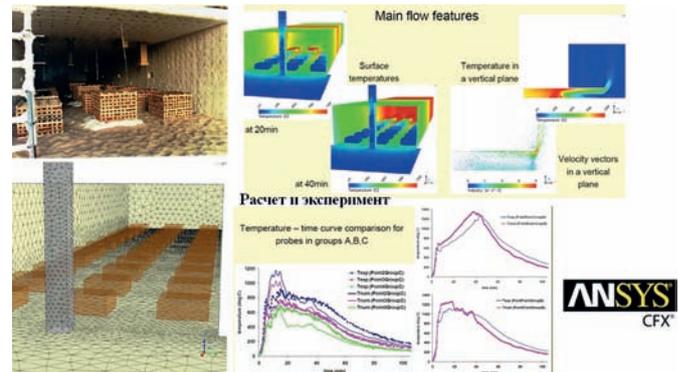


Рис. 15. Численное моделирование задач аэрогидроупругости в строительстве

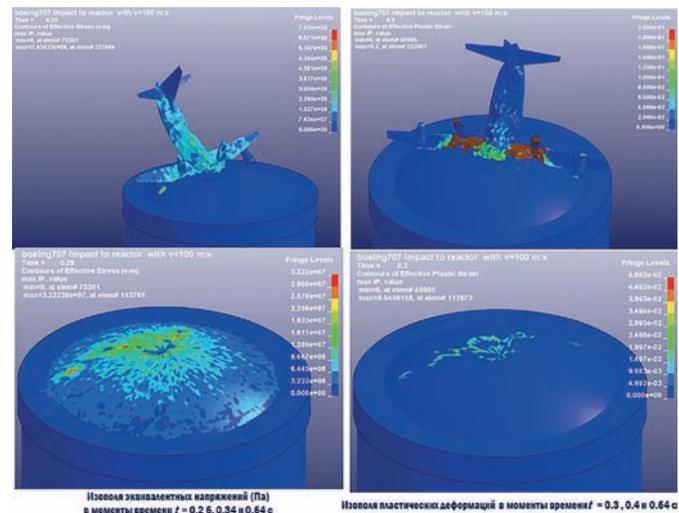


Рис. 16. Численное моделирование задач термоупругости

пературного поля и поля напряжений является связанной, и в ней учитываются влияние напряжений на распределение температур и тепло, которое выделяется при деформации тела в результате приложения внешних силовых нагрузок. На рисунке 16 показан процесс ударного взаимодействия самолёта и защитной оболочки АЭС в нелинейной динамической постановке, когда имеет место разрушение оболочки и растекание топлива.



Рис. 17. К натурным исследованиям Шуховской башни



Рис. 18. Лазерные сканирующие системы для проведения обследования зданий и сооружений



Рис. 19. Расчётные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити» с учётом фактического положения железобетонных конструкций (ПК «ANSYS»)

Достоверность и полнота получаемых результатов и практических выводов определяется гармоничным «сплавом» квалификации расчётчиков и качеством используемого программного обеспечения при безусловно определяющем влиянии квалификации.

Цифровые технологии в экспериментальных и натуральных исследованиях. Взаимосвязь с математическим моделированием

Важнейшим этапом обследования зданий и сооружений является создание адекватных чертежей и моделей существующего объекта с помощью лазерных установок. В качестве примера отметим, что построенная в 1922 году и находящаяся в эксплуатации Шуховская башня нуждается в срочной реконструкции, однако первоначальный проект башни и чертежи её реконструкции 1937 года не сохранились (рис. 17).

Для воссоздания чертежей башни была применена наземная импульсная лазерная сканирующая система, которая позволяет производить сканирование на расстоянии до 600 метров с точностью определения расстояний до 5 мм. Результатом сканирования явилось облако точек, которое представляет собой трёхмерную точечную модель области пространства вокруг сканера. После камеральных работ появилась полная трёхмерная точечная модель башни (приблизительно 50 млн точек), по которым была построена цифровая трёхмерная каркасная модель башни. Также была сделана цифровая трёхмерная твердотельная модель Шуховской башни, на основе которой были созданы обмерные чертежи башни, расчётная схема и выполнены все необходимые проектные работы.

На рисунке 18 показан пример лазерной сканирующей системы, используемой для проведения обследования зданий и сооружений.

Что касается проблемы мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений, то выделяются четыре метода инструментального мониторинга: геодезические измерения;

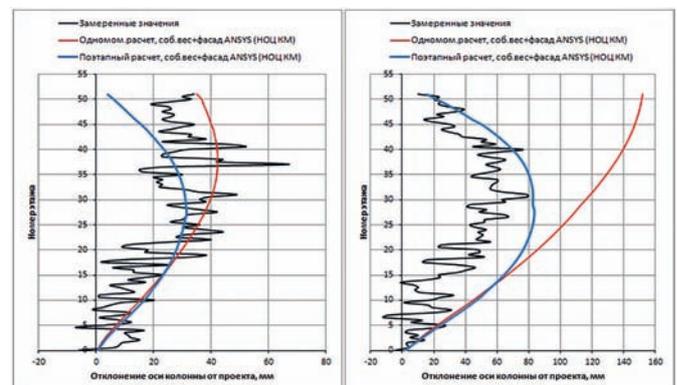


Рис. 20. Расчётные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити» с учётом фактического положения ж/б конструкций (ПК «ANSYS»)

инженерно-геологические наблюдения состояния грунтового массива основания; измерения нагрузок и деформаций в конструкциях фундамента и надземной части.

Перспективным направлением является использование строительных конструкций с заложенными в них чувствительными элементами, соединёнными в искусственную нейросеть, что позволит осуществлять точную идентификацию типа и места повреждения на основе технологии распознавания образов. Внимания заслуживает сейсмометрический метод, который позволяет обследовать здание в целом и выявить значимые изменения в несущих конструкциях без инструментального воздействия и визуального осмотра каждой конструкции. Этот метод обеспечивает приемлемое по точности определение собственных частот и форм колебаний, которые идентифицируют локальные изменения состояния конструкций (включая разрушения). Например, по изменению величин измеренных высоких частот можно определить начало разрушения какой-либо несущей конструкции.

На рисунках 19 и 20 показаны результаты расчётных исследований НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити» с учётом фактического положения железобетонных конструкций. Лишь система инструментального мониторинга, построенная на основе анализа результатов конечноэлементного моделирования в сопоставлении с данными измерений, позволит сделать выводы о состоянии и возможности дальнейшей эксплуатации здания.

Цифровые технологии в производстве материалов, изделий и конструкций

Возможно аддитивные технологии (3D-принтинг) – будущее строительства. Возможно, именно 3D-принтер в будущем позволит окончательно решить «квартирный вопрос». На 3D-принтере все объекты печатаются послойно, в качестве материала можно использовать и синтетические смолы, и бетон, и сталь (рис. 21).

В настоящее время развитие 3D-печати зданий сдерживается масштабами. Чтобы построить большой дом высотой хотя бы два-три этажа, потребуется весьма дорогостоящий принтер действительно гигантских размеров. Альтернативой является обучение трёхмерного принтера перемещению по специальным строительным лесам для возведения стен по заданной программе. Именно поэтому пока все отпечатанные здания или очень небольшие, или состоят из отдельных модулей, или собираются из готовых деталей. Мнения экспертов относительно будущего трёхмерной печати зданий расходятся. Многие уверены, что целиком здания таким способом строиться никогда не будут, это нерентабельно. Пока же печать домов на 3D-принтерах, скорее, напоминает гонку за рекордами, чем начало действительно массового и дешёвого строительства зданий. В то же время в Голландии за шесть месяцев напечатали стальной мост пролётом 12,5 метров, шириной 6,3 метра, весом 4,5 тонны (рис. 22).

Технологии трёхмерной печати позволяют существенно упростить производство различных объектов. В частности,

3D-принтеры дают возможность с использованием разных материалов создавать конструкции произвольной формы в виде единой детали, что нельзя сделать с помощью обычных производственных технологий. Благодаря этому уменьшается расход материала.

В последние годы в России возникла практика использования трёхмерных систем автоматического управления, установ-

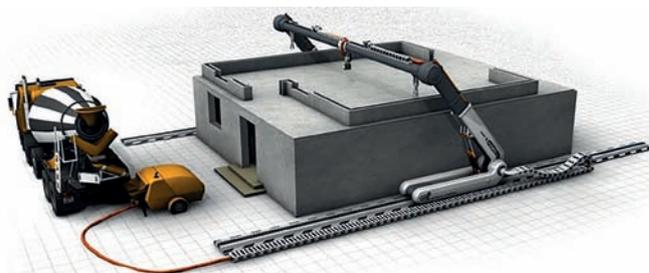


Рис. 21. Аддитивные технологии (3D-принтинг) – будущее строительства?



Рис. 22. Стальной мост в Голландии, возводимый с использованием аддитивных технологий



Рис. 23. Лазерная 3D-технология заливки бетона

ливаемых на бетоноукладчиках и обладающих значительно увеличенной производительностью (лазерная 3D-технология заливки бетона) (рис. 23).

Развитие компьютерного материаловедения

В последние годы в разработке проблем строительного материаловедения определились и получили развитие

основы теории синтеза и конструирования структур композитов, соотносимые с исследованием физико-химических и механо-химических проблем формирования систем твердения, с разработкой методологии, принципов и процедур аналитического и экспериментального моделирования «конструкции структур материалов» нового поколения, с решением теоретических и инженерных вопросов управления эксплуатационными свойствами композитов на основе оптимизации их структур, с совершенствованием традиционных и созданием новых высоких технологий производства строительных композитов. На ближайшую перспективу в качестве актуальной проблематики принимаются, в частности, следующие направления:

- разработка, исследование и развитие теории синтеза и теории конструирования оптимальных структур строительных композитов нового поколения, в том числе разработка моделей, алгоритмов и компьютерных программ оптимизационного конструирования высокоэффективных ресурсо-экономичных строительных композитов, а также реализация полученных данных в решении вопросов создания сверхпрочных конструкционных конгломератных композитов специального назначения на основе кристаллических субмикроструктурных и наноструктурных матриц [4];

- разработка, исследование и развитие проблем математического моделирования, разработки алгоритмов и программ, информационных технологий в задачах компьютерного материаловедения и оптимизации переменных структур строительных композитов – сверхплотных, особо высокопрочных, ультралегковых, сверхстойких к действию эксплуатационной среды и т.п. [5].

Исследования в указанных направления ведут специалисты образовательного творческого академического центра «Архстройнаука» Воронежского государственного технического университета под руководством Е.М. Чернышова. Фундаментальные научные основы компьютерного материаловедения были сформированы в трудах Ю.М. Баженова, В.А. Воробьева, А.В. Вознесенского, О.Л. Дворкина, В.И. Кондращенко, Т.В. Ляшенко, Е.М. Чернышова, Е.С. Шинкевич и др. [2].

ВМ-идеи «информационной экономики» в строительстве и современное состояние (реклама и реалии)

Рубеж конца XX века – начала XXI века ознаменовался появлением принципиально нового подхода в архитектурно-строительном проектировании, заключающемся в создании компьютерной модели нового здания, несущей в себе все сведения о будущем объекте и являющейся инструментом контроля за его жизненным циклом – Building Information Model (ВМ). ВМ называют нашим будущим (рис. 24).

Однако сквозь пиар важно видеть реальное положение дел, которое свидетельствует о том, что зачастую именно маркетинг (а не реальность!) формирует ВМ-представление, а большинство людей оперирует скорее рекламными лозунгами, чем пониманием реальных технологий. ВМ хорош для



Рис. 24. ВМ. Рекламные декларации

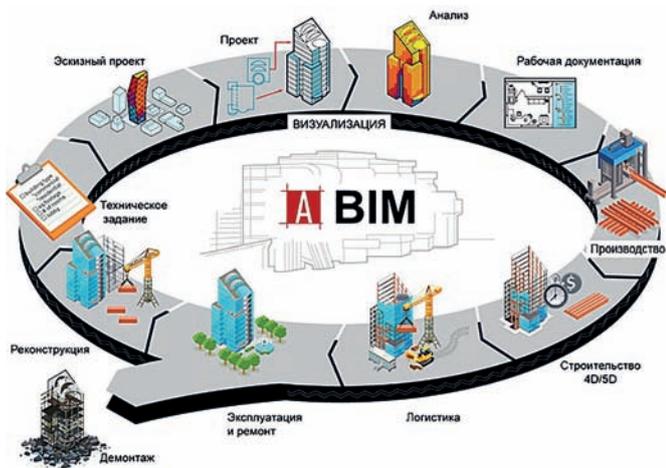


Рис. 25. Схематичная концепция ВМ

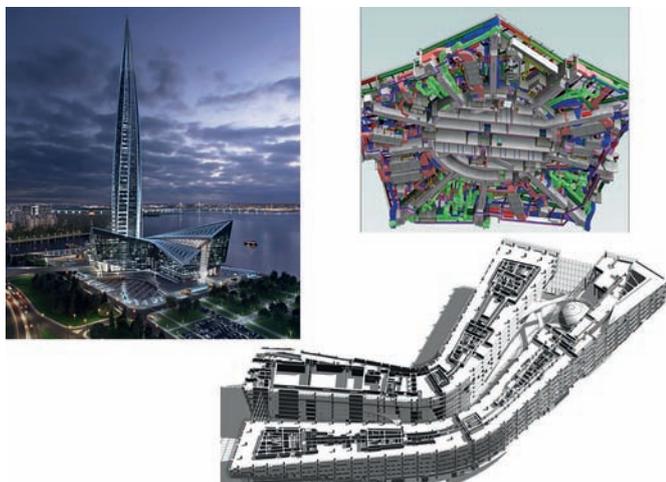


Рис. 26. Трёхмерная модель комплекса «Лакhta-центр» и одного этажа с полным набором инженерного оборудования

решения проблем формообразования, использования пространства и представления проекта. Его особенности – различные инструменты визуализации и разрешение конфликтов взаимного расположения объектов (рис. 25).

На рисунке 26 представлена трёхмерная модель комплекса «Лакта-центр» и одного этажа с полным набором инженерного оборудования. Вместе с тем на других этапах проектирования на первое место выходит, например, необходимость формировать компьютерные модели, специально предназначенные для конкретных видов расчётных обоснований [1; 3; 6; 7]. Почти во всех случаях эти модели в принципе невозможно получить из базы данных BIM автоматически, и, следовательно, указанная проблемная область фактически исключается из интегрированного процесса проектирования.

Реализация адекватного контроля за жизненным циклом объекта в рамках BIM также сопряжена с целым рядом принципиальных трудностей. Так, например, для достаточно большого объекта информация об имеющихся дефектах может иметь огромный объём.

В классических методах работы эта информация упрощается, в инженерных отчётах для удобства обозрения и принятия решений, однако, «вшивание» её в BIM-модель может быть трудоёмким и неэффективным.

Ещё одной проблемой является получение достоверной оценки технического состояния существующих строительных объектов по результатам их обследований и диагностики. Цифровые технологии позволили применить нечёткую логику для создания экспертных систем, позволяющих получать обоснованные заключения о состоянии объектов и их пригодности для дальнейшей эксплуатации.

Цифровые технологии в экономике строительства

Современное развитие цифровых технологий позволило впервые с января 2018 года создать в Российской Федерации две новые федеральные информационные системы – Федеральную государственную систему ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС) и Федеральную государственную систему «Единый государственный реестр заключений» (ФГИС ЕРЗ).

Основной задачей ФГИС ЦС является мониторинг стоимости строительных ресурсов для каждого субъекта Российской Федерации.

Эта система позволит увеличить точность сметных расчётов благодаря переходу на ресурсный метод составления сметной документации. ФГИС использует новый классификатор и кодификатор строительных ресурсов, который состоит почти из 69 тысяч позиций (материалов, изделий, конструкций, оборудования, машин и механизмов).

Единый государственный реестр заключений (ЕРЗ) обеспечивает доступ к консолидированной информации о заключениях экспертизы, в отношении объектов капитального строительства, в том числе в отношении экономически эффективной проектной документации повторного использования; что повысит информационную открытость деятельности экспертных организаций.

«Умные» дом, район, город, регион и страна в понимании умных профессионалов – светлая перспектива

«Умные дома», или интеллектуальные здания, постепенно или постоянно помогают экономить эксплуатационные ресурсы и повышают комфорт находящихся в таких зданиях людей.

«Умный город» – это стратегическая концепция по развитию городского пространства, подразумевающая совместное использование информационно-коммуникационных технологий для управления городской инфраструктурой.

Благодаря использованию датчиков, интегрированных с системой мониторинга в режиме реального времени, данные собираются непосредственно от соответствующих устройств и жителей, после чего обрабатываются и анализируются.

Однако сама идея создания всеобъемлющей городской инфраструктуры, управляемой из единого центра местными властями, отражает модель вертикального городского управления, доведённого до крайности. Сама возможность напрямую соединять людей или устройства стимулирует возникновение новых моделей поведения, в рамках которых в единственном координаторе всего уже нет нужды. Прогнозируется, что с развитием новых систем и моделей поведения, подобная концепция «умного города» уйдёт в прошлое.

Нормотворчество в области информационных технологий – уместно ли и в каких разделах?

В целом, с сожалением приходится отметить невысокое качество нормативных документов, регламентирующих использование информационных технологий и связанных с этим научно-исследовательских работ. Для исправления этой ситуации целесообразно привлечь РААСН не только к экспертизе проектов нормативных документов и выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), но также к формированию и оценке поданных заявок на соответствующий конкурс, проводимый федеральным автономным учреждением «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» (ФАУ «ФЦС»).

Именно экспертное сообщество, координируемое РААСН, должно сформулировать для ФАУ «ФЦС» перечень основных направлений и тем, остро необходимых нормативных документов и актуальных НИОКР, а также, возможно, рекомендовать коллективы разработчиков этих документов.

В заключение заметим, что несмотря на перечисленные успехи, следует помнить, что бездумная «цифровизация» может привести нас к тому, с чего мы начали.

Литература

1. Белостоцкий, А.М. Научно-исследовательский центр СтаДиО. 25 лет на фронте численного моделирования / А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов // International Journal for Computational Civil and Structural. – 2016. – Volume 12. – Issue 1. – P. 8–45.

2. Славчева, Г.С. Структура высокотехнологичных бетонов и закономерности проявления их свойств при эксплуатационных влажностных воздействиях. Автореферат диссертации на со-

искание учёной степени доктора технических наук. 05.23.05 / Г.С. Славчева. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2009. – 44 с.

3. *Травуш, В.И.* Численное моделирование физически нелинейной динамической реакции высотных зданий и при сейсмических воздействиях уровня МРЗ / В.И. Травуш, А.М. Белостоцкий, В.В. Вершинин [и др.] // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. – 2016. – Volume 12. – Issue 1. – P. 117–139.

4. *Чернышов, Е.М.* Некоторые итоги развития научных исследований в области системно-структурного строительного материаловедения и высоких технологий (к 70-летию открытия специальности инженер – строитель – технолог в Воронежском государственном архитектурно-строительном университете) / Е.М. Чернышов // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения*. – 2014. – Вып. № 2 (9). – С. 3–17.

5. *Чернышов, Е.М.* Химия, физика, механика в разработке проблем строительного материаловедения и технологий (ретроспекция исследований научной школы кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов к 85-летию Воронежского ГАСУ) / Е.М. Чернышов // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения*. – 2014. – Вып. № 2 (9). – С. 3–12.

6. *Belostotsky, A.M.* Adaptive Finite Element Models Coupled with Structural Health Monitoring Systems for Unique Buildings / A.M. Belostotsky, P.A. Akimov // *Procedia Engineering*. – 2016. – Vol. 153. – P. 83–88.

7. *Belostotsky, A.M.* Contemporary Problems of Numerical Modelling of Unique Structures and Buildings / A.M. Belostotsky, P.A. Akimov, I.N. Afanasyeva, T.B. Kaytukov // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. – 2017. – Volume 13. – Issue 2. – P. 9–34.

Literatura

1. *Belostotskij A.M.* Nauchno-issledovatel'skij tsentr StaDiO. 25let na fronte chislenного modelirovaniya / A.M. Belostotskij, P.A. Akimov // *International Journal for Computational Civil and Structural*. – 2016. – Volume 12. – Issue 1. – P. 8–45.

2. *Slavcheva G.S.* Struktura vysokotehnologichnyh betonov i zakonomernosti proyavleniya ih svojstv pri ekspluatatsionnyh vlazhnostnyh vozdeystviyah. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehnikeskikh nauk. 05.23.05 / G.S. Slavcheva. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2009. – 44 s.

3. *Travush V.I.* Chislennoe modelirovanie fizicheskij nelinejnoj dinamicheskoj reaktsii vysotnyh zdaniy i pri sejsmicheskikh vozdeystviyah urovnya MRZ / V.I. Travush, A.M. Belostotskij, V.V. Vershinin [i dr.] // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. – 2016. – Volume 12. – Issue 1. – P. 117–139.

4. *Chernyshov E.M.* Nekotorye itogi razvitiya nauchnyh issledovanij v oblasti sistemno-strukturnogo stroitel'nogo materialovedeniya i vysokih tehnologij (k 70-letiyu otkrytiya spetsial'nosti inzhener – stroitel' – tehnolog v Voronezhskom gosudarstvennom arhitekturno-stroitel'nom universitete) / E.M. Chernyshov // *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedeniya*. – 2014. – Vyp. № 2 (9). – S. 3–17.

5. *Chernyshov E.M.* Himiya, fizika, mehanika v razrabotke problem stroitel'nogo materialovedeniya i tehnologij (retrospektiya issledovanij nauchnoj shkoly kafedry tehnologii vyazhushhih veshhestv i betonov k 85-letiyu Voronezhskogo GASU) / E.M. Chernyshov // *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedeniya*. – 2014. – Vyp. № 2 (9). – S. 3–12.

Травуш Владимир Ильич, 1936 г.р. (Москва). Доктор технических наук, профессор, академик РААСН. Вице-президент по направлению «Строительные науки» Российской академии архитектуры и строительных наук (107031, Москва, Большая Дмитровка, 24, стр. 1. РААСН), заместитель генерального директора по научной работе ЗАО «Городской проектный институт жилых и общественных зданий». Научные интересы: строительные конструкции, здания и сооружения; строительная механика; математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Тел.: +7 (495) 650-77-83. E-mail: travush@raasn.ru.

Travush Vladimir Ilyich, born in 1936 (Moscow). Doctor of Technical Sciences, professor, academician of RAACS. Vice-President in the field of Construction Sciences of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (107031, Moscow, Bolshaya Dmitrovka, 24, build. 1. RAASN), deputy director general for Research at CJSC "City Design Institute for Residential and Public Buildings". Scientific interests: building structures, buildings and structures; structural mechanics; mathematical modeling, numerical methods and program complexes. Tel.: +7 (495) 650-77-83. E-mail: travush@raasn.ru.